

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-144692

(43)Date of publication of application : 25.05.2001

(51)Int.CI.

H04B 10/17
H04B 10/16
H01S 3/06
H04B 10/14
H04B 10/06
H04B 10/04
H04J 14/00
H04J 14/02

(21)Application number : 11-325809

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 16.11.1999

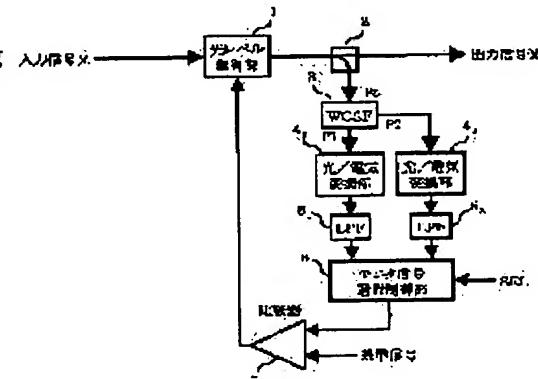
(72)Inventor : WADA TETSUO

(54) DEVICE AND METHOD FOR CONTROLLING WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL AMPLIFIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a controller for a wavelength multiplex optical amplifier that realizes control of the optical amplifier with high accuracy by decreasing a control error caused by the effect of a noise light included in a monitor light used for controlling the wavelength multiplex optical amplifier and to provide its control method.

SOLUTION: In the controller for the wavelength multiplex optical amplifier by this invention, a photocoupler 2 branches part of a WDM signal light amplified by an optical level control section 1 or the like and a wavelength channel separation filter(WCSF) 3 is used to group the branched light into an even number channel component and an odd number channel component. Then photoelectric conversion sections 41, 42 and LPFs 51, 52 generate a monitor signal corresponding to each optical power of the even number group and the odd number group, a monitor signal selection control section 6 selects a monitor signal corresponding to either of the even number group and the odd number group and gives it to a comparator 7 and the output signal from the comparator applies feedback control to the level control section 1 so as to allow the control section 1 to conduct the ALC operation.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-144692 ✓

(P2001-144692A)

(43)公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51) Int.Cl.⁷
 H 04 B 10/17
 10/16
 H 01 S 3/06
 H 04 B 10/14
 10/06

識別記号

F I
 H 01 S 3/06
 H 04 B 9/00

テ-マコト(参考)
 B 5 F 0 7 2
 J 5 K 0 0 2
 S
 E

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平11-325809

(22)出願日 平成11年11月16日 (1999.11.16)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72)発明者 和田 哲雄

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100078330

弁理士 笹島 富二雄

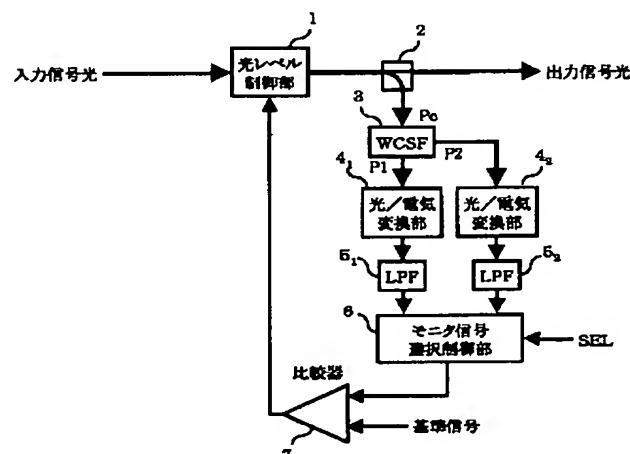
F ターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 JJ20 KK30
RR01 YY17
5K002 AA06 CA02 CA08 CA10 CA13
DA02

(54)【発明の名称】 波長多重用光アンプの制御装置および制御方法

(57)【要約】

【課題】波長多重用光アンプの制御に用いるモニタ光に含まれる雑音光の影響によって生じる制御誤差を軽減して、精度の高い光アンプの制御を実現する波長多重用光アンプの制御装置および制御方法を提供する。

【解決手段】本発明による波長多重用光アンプの制御装置は、光レベル制御部1で増幅等されたWDM信号光の一部を光カプラ2で分岐し、該分岐光を波長チャネル分離フィルタ(WCSF)3を用いて偶数チャネル成分および奇数チャネル成分にグループ分けする。そして、偶数グループおよび奇数グループの各光パワーに対応したモニタ信号を各光/電気変換部41, 42およびLPPF51, 52で生成し、モニタ信号選択制御部6で偶数グループおよび奇数グループの一方に対応したモニタ信号を選択して比較器7に送り、比較器7の出力信号に従って光レベル制御部1がALC動作するようにフィードバック制御を行う。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御装置において、
前記波長多重信号光を複数の波長グループに分離する光分離手段と、
該光分離手段で分離した各波長グループを単位として光パワーを測定する光パワー測定手段と、
該光パワー測定手段で測定された1つの波長グループの光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御する制御手段と、
を備えて構成されたことを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項2】請求項1に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記波長多重用光アンプで増幅された波長多重信号光の一部を分岐して、前記光分離手段に出力する光分岐手段を備え、

前記光分離手段が、前記波長多重信号光の波長チャネル間隔に応じて周期的に変化する透過波長特性を有し、前記光分岐手段で分岐された波長多重信号光の一部を、偶数チャネル光を含む偶数グループおよび奇数チャネル光を含む奇数グループに分離し、

前記光パワー測定手段が、前記光分離手段で分離された偶数グループおよび奇数グループについての各光パワーを測定し、

前記制御手段が、前記光パワー測定手段で測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項3】請求項2に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記光分岐手段が、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部を有し、

前記制御手段が、前記光パワー測定手段で測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、出力光レベルが一定となるように前記波長多重用光アンプの動作を制御する出力レベル一定制御部を有することを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項4】請求項2に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記光分岐手段が、前記波長多重用光アンプに入力される波長多重信号光の一部を分岐する入力側分岐部と、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部と、を有し、

前記光分離手段が、前記入力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を前記偶数グループおよび前記奇数グ

10

2

ループに分離する入力側分離部と、前記出力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を前記偶数グループおよび前記奇数グループに分離する出力側分離部と、を有し、

前記光パワー測定手段が、前記入力側分離部で分離された偶数グループおよび奇数グループの各光パワーをそれぞれ測定する入力側光パワー測定部と、前記出力側分離部で分離された偶数グループおよび奇数グループの各光パワーをそれぞれ測定する出力側光パワー測定部と、を有し、

前記制御手段が、前記入力側光パワー測定部および前記出力側光パワー測定部でそれぞれ測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、前記波長多重用光アンプの入出力光のレベル差が一定となるように、前記波長多重用光アンプの動作を制御する利得一定制御部を有することを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項5】請求項2に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

20 前記制御手段が、外部からの選択信号に従って、前記光パワー測定手段で測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方を選択する選択部を有し、該選択部で選択された光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項6】請求項5に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記制御手段は、偶数チャネルが増設または減設されるとき、前記選択部により奇数グループの光パワーを選択

30 して制御を行い、奇数チャネルが増設または減設されるとき、前記選択部により偶数グループの光パワーを選択して制御を行うことを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項7】波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御装置において、

前記波長多重信号光の一部を分岐する光分岐手段と、前記波長多重信号光の波長チャネル間隔に応じて周期的に変化する透過波長特性を有し、前記光分岐手段で分岐された波長多重信号光の一部を、各波長のチャネル光およびその近傍の雑音光を含む信号成分と、各波長のチャネル光の間の波長帯に存在する雑音光を含む雑音成分と、に分離する光分離手段と、

該光分離手段で分離された信号成分の光パワーを測定可能な光パワー測定手段と、

該光パワー測定手段で測定された信号成分の光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御する制御手段と、

を備えて構成されたことを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

50

【請求項8】請求項7に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記光分岐手段が、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部を有し、

前記制御手段が、前記光パワー測定手段で測定された信号成分の光パワーに基づいて、出力光レベルが一定となるように前記波長多重用光アンプの動作を制御する出力レベル一定制御部を有することを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項9】請求項7に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記光分岐手段が、前記波長多重用光アンプに入力される波長多重信号光の一部を分岐する入力側分岐部と、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部と、を有し、

前記光分離手段が、前記入力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を前記信号成分および前記雑音成分に分離する入力側分離部と、前記出力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を前記信号成分および前記雑音成分に分離する出力側分離部と、を有し、

前記光パワー測定手段が、前記入力側分離部で分離された信号成分の光パワーを測定可能な入力側光パワー測定部と、前記出力側分離部で分離された信号成分の光パワーを測定可能な出力側光パワー測定部と、を有し、

前記制御手段が、前記入力側光パワー測定部および前記出力側光パワー測定部でそれぞれ測定された各信号成分の光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの入出力光のレベル差が一定となるように、前記波長多重用光アンプの動作を制御する利得一定制御部を有することを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項10】請求項7に記載の波長多重用光アンプの制御装置であって、

前記光パワー測定手段が、前記光分離手段で分離された信号成分および雑音成分の各光パワーを測定可能であるとともに、

前記光パワー測定手段で測定された信号成分および雑音成分の各光パワーと、使用波長に関するチャネル情報を用いて、前記波長多重信号光のOSNRの平均値を算出するOSNR算出手段を備えたことを特徴とする波長多重用光アンプの制御装置。

【請求項11】波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御方法において、

前記波長多重信号光を複数の波長グループに分離する光分離過程と、

該光分離過程で分離した各波長グループを単位として光パワーを測定する光パワー測定過程と、

該光パワー測定手段で測定された1つの波長グループの光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を

制御する制御過程と、

を含んでなることを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項12】請求項11に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記光分離過程が、前記波長多重信号光の一部を分岐して、偶数チャネル光を含む偶数グループおよび奇数チャネル光を含む奇数グループに分離し、

前記光パワー測定過程が、前記光分離過程で分離された偶数グループおよび奇数グループについての各光パワーを測定し、

前記制御過程が、前記光パワー測定過程で測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項13】請求項12に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記光分離過程が、波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐し、

20 前記制御過程が、前記光パワー測定過程で測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、出力光レベルが一定となるように前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項14】請求項12に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記光分離過程が、前記波長多重用光アンプに入力される波長多重信号光の一部を分岐して、前記偶数グループおよび前記奇数グループに分離するとともに、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐して、前記偶数グループおよび前記奇数グループに分離し、

前記光パワー測定過程が、前記光分離過程で分離された入力側および出力側における偶数グループおよび奇数グループの各光パワーをそれぞれ測定し、

前記制御過程が、前記光パワー測定過程でそれぞれ測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、前記波長多重用光アンプの入出力光のレベル差が一定となるように、前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項15】請求項12に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記制御過程は、偶数チャネルが増設または減設されるとき、奇数グループの光パワーに基づいて制御を行い、奇数チャネルが増設または減設されるとき、偶数グループの光パワーに基づいて制御を行うことを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項16】波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプ

の動作を制御する制御方法において、前記波長多重信号光の一部を分岐して、各波長のチャネル光およびその近傍の雑音光を含む信号成分と、各波長のチャネル光の間の波長帯に存在する雑音光を含む雑音成分と、に分離する光分離過程と、該光分離過程で分離された信号成分の光パワーを測定する光パワー測定過程と、該光パワー測定過程で測定された信号成分の光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御する制御過程と、を含んでなることを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項17】請求項16に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記光分離過程が、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐し、

前記制御過程が、前記光パワー測定過程で測定された信号成分の光パワーに基づいて、出力光レベルが一定となるよう前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項18】請求項16に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記光分離過程が、前記波長多重用光アンプに入力される波長多重信号光の一部を分岐して、前記信号成分および前記雑音成分に分離するとともに、前記波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐して、前記信号成分および前記雑音成分に分離し、

前記光パワー測定過程が、前記光分離過程で分離された入力側および出力側における信号成分の各光パワーをそれぞれ測定し、

前記制御過程が、前記光パワー測定過程でそれぞれ測定された信号成分の光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの入出力光のレベル差が一定となるように、前記波長多重用光アンプの動作を制御することを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【請求項19】請求項16に記載の波長多重用光アンプの制御方法であって、

前記光パワー測定過程が、前記光分離過程で分離された信号成分および雑音成分の各光パワーを測定し、

前記光パワー測定過程で測定された信号成分および雑音成分の各光パワーと、使用波長に関するチャネル情報とを用いて、前記波長多重信号光のOSNRの平均値を算出するOSNR算出過程とを含んでなることを特徴とする波長多重用光アンプの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信で用いられる波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御装置および制御方法に関し、特に、雑音光の影響によって生じる誤差を軽減して精度の

高い制御を実現できる波長多重用光アンプの制御装置および制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光波長多重(WDM)伝送方式は、光ファイバ伝送路1本あたりの伝送容量を飛躍的に拡大可能な技術として、また、光波ネットワーク構築へつながる基礎技術として注目されている。一方、光アンプは、光信号を電気信号に変換すること無く線形増幅することにより、再生中継間隔を大幅に改善することが可能であるため、特に、幹線系伝送システムにおいて広く用いられている。さらに、光波長多重伝送方式にあっては、複数の光信号を一括して増幅することが可能であることから、光アンプの特長をより有効に生かせる方式である。

【0003】従来の光アンプを用いた光伝送システムでは、光増幅中継装置(線形中継局)において電気信号のオーバーヘッド等をモニタして伝送チャネル情報を得ることができないため、その代替手段として監視制御信号光(Optical Supervisory Channel、以下、OSC信号光とする)を主信号光に波長多重して用いる方法が知られている。このOSC信号光は、例えば送信側のWDM端局装置にて生成され、光増幅中継装置にて終端されると共に、必要な情報は再度OSC信号光に乗せられて受信側のWDM端局装置に転送される。

【0004】上記のような光伝送システムで用いられる光アンプのレベル制御方式には、光アンプの出力レベルを一定に保つ制御方式(以下、ALC方式とする)と、光アンプの利得(入出力のレベル差)を一定に保つ制御方式(以下、AGC方式とする)がある。

【0005】図10は、一般的なALC方式の構成例を示すブロック図である。図10のようにALC方式では、光アンプや光アッテネータ等を有する光レベル制御手段から出力される出力信号光の一部がモニタされ、その平均レベルを一定に保つべく、光アンプの利得や光アッテネータの損失等がフィードバック制御される。

【0006】図11は、一般的なAGC方式の構成例を示すブロック図である。図11のようにAGC方式では、光レベル制御手段への入力信号光の一部および出力信号光の一部がそれぞれモニタされ、入出力光の平均レベルの差を一定に保つべく、光レベル制御手段がフィードバック制御される。

【0007】光アンプを光波長多重伝送に用いる場合、ALC方式の制御下で、図10における基準信号を一定値に保ったままで波長チャネル数の変動が起ると、図12に示すような波長チャネルレベルの変動が起こる。すなわち、例えば、波長チャネル数が2チャネルの設定でALC動作している場合に波長チャネル数が4チャネルに変化すると、比較器の基準信号が一定であるため、2チャネルのときの平均レベルと4チャネルのときの平均レベルとが一定となるように光レベル制御手段がフィードバック制御される。

ードバック制御されて、波長チャネル数の変化後の各々の波長チャネルレベルが低下してしまう。従って、ALC方式における基準信号は、使用している波長チャネル数に応じて変化させる必要がある。使用している波長チャネル数の情報については、例えば、送信側のWDM端局装置から光増幅中継装置に伝えられるOSC信号光を介して得ることが可能であった。

【0008】一方、光アンプがAGC動作している場合には、波長チャネル数が変動しても、図13に示すように各波長チャネルのレベルは一定に保たれる。すなわち、波長チャネル数が2チャネルから4チャネルに変化しても、入出力光の各平均レベルの差が一定に保たれるため、波長チャネル数の変化前後において各々の波長チャネルレベルは一定に制御される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような従来の光波長多重用光アンプの制御方式では、光信号を線形増幅する際に発生する、自然放出(Amplified Spontaneous Emission: ASE)光と呼ばれる雑音光の影響による制御誤差が問題であった。

【0010】図14は、光波長多重伝送信号のスペクトラムを波長チャネル数が8チャネルの場合を例にとって示したものである。図14において、各波長チャネルのスペクトラムピークの下部に見られるのが、光信号を線形増幅する際に発生するASE光である。

【0011】ASE光のスペクトラム形状は、光アンプの増幅帯域によって決まり、増幅帯域の広い(多くの波長チャネルを増幅することが可能な)光アンプほど広い雑音帯域を持ち、線形増幅を繰り返すたびにASE光は累積される。光アンプのレベル制御を行う際にモニタされる光信号は、各波長チャネルの光パワーを個別にモニタするのではなく、光アンプの光出力全体が1つのPD等でモニタされるため、上記のASE光が含まれることになり、これは波長チャネル光のレベル制御を行う上では誤差になる。ASE光による制御誤差は、広帯域の光アンプを少数の波長チャネル数で使用する場合、例えば、32チャネル分の波長帯域を持つ光アンプを1チャネルで使用する場合などにおいて、より顕著に表れる。

【0012】また、波長多重用光アンプをALC動作させる目的は、伝送ロス変動等による入力信号レベルのドリフトを抑圧して安定な伝送品質を確保することである。このため、波長チャネルの増設または減設を行う場合にも光アンプをALC動作させて用いることが望まれる。しかしながら、従来の制御方式では、波長チャネルの増減設を行う際にALCを一旦中断しなければならなかった。

【0013】さらに、光アンプがAGC動作する場合においては、波長チャネル数が変動しても各波長チャネル光のレベルに影響を与えないようにするために、波長チャネルの増設または減設によって起こるレベル変動の振

幅と速度が、AGC動作の応答できる範囲内であることが必要となる。しかし、従来の制御方式ではAGCの応答速度が必ずしも十分レベルではなかった。

【0014】加えて、図14において、波長チャネル光のレベルと雑音光のレベルとの比を光信号対雑音比(以下、OSNRとする)と呼び、光伝送信号の品質を評価する上で重要なパラメータである。OSNRの測定を正確に行うためには、光信号のスペクトラムを測定する必要があり、広ダイナミックレンジのスペクトラムアナライザが必要となる。しかしながら、OSNRの測定を行う目的で各光増幅中継装置にスペクトラムアナライザを設けることは、光増幅中継装置の構成の簡略化といった観点からは必ずしも好ましくない。

【0015】本発明は上記の点に着目してなされたもので、雑音光の影響による制御誤差を軽減してより正確な光アンプの制御を実現することを第1の目的とする。また、波長チャネルの増設または減設を行う際にも、伝送路ロス変動等による入力信号レベルのドリフトを抑圧可能な光アンプの制御を実現することを第2の目的とする。さらに、増減設時を行う際の上記のようなAGC動作の制限を軽減できる光アンプの制御を実現することを第3の目的とする。加えて、光信号のスペクトラムを測定することなく簡易的にOSNRをモニタできる制御方式を実現することを第4の目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明による波長多重用光アンプの制御装置の1つの態様は、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御装置において、波長多重信号光を複数の波長グループに分離する光分離手段と、該光分離手段で分離した各波長グループを単位として光パワーを測定する光パワー測定手段と、該光パワー測定手段で測定された1つの波長グループの光パワーに基づいて、前記波長多重用光アンプの動作を制御する制御手段と、を備えて構成されるものである。

【0017】かかる構成では、波長多重信号光が光分離手段によって複数の波長グループに分割され、光パワー測定手段によって各波長グループを単位として光パワーが測定される。そして、測定された各波長グループの光パワーのうちの1つが選択されて、該選択された波長グループの光パワーに基づいて、制御手段により、波長多重用光アンプの動作が制御されるようになる。これにより、光アンプの制御に用いられるモニタ光に含まれる雑音光成分の割合が小さくなつて、雑音光の影響による制御誤差が軽減されるため、精度の高い制御動作を実現することが可能になる。

【0018】また、上記の制御装置については、波長多重用光アンプで増幅された波長多重信号光の一部を分歧して、光分離手段に出力する光分歧手段を備え、光分離

手段が、波長多重信号光の波長チャネル間隔に応じて周期的に変化する透過波長特性を有し、光分岐手段で分岐された波長多重信号光の一部を、偶数チャネル光を含む偶数グループおよび奇数チャネル光を含む奇数グループに分離し、光パワー測定手段が、光分離手段で分離された偶数グループおよび奇数グループについての各光パワーを測定し、制御手段が、光パワー測定手段で測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、波長多重用光アンプの動作を制御するようにしてもよい。

【0019】かかる構成では、波長多重用光アンプで取り扱われる波長多重信号光の一部が光分岐手段によって分岐され、該分岐された信号光は、光分離手段によって偶数グループおよび奇数グループに分離され、光パワー測定手段によって各々のグループの光パワーが測定される。そして、測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーのうちの一方が選択されて、該選択された成分の光パワーに基づいて、制御手段により、波長多重用光アンプの動作が制御されるようになる。

【0020】さらに、上記の制御装置については、光分岐手段が、波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部を有し、制御手段が、光パワー測定手段で測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、出力光レベルが一定となるように波長多重用光アンプの動作を制御する出力レベル一定制御部を有するようにしてもよい。

【0021】かかる構成では、波長多重用光アンプで増幅された波長多重信号光の一部が、出力側分岐部によってモニタ光として分岐され、さらに光分離手段によって偶数グループおよび奇数グループに分離される。そして、光パワー測定手段で測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方を基に、出力レベル一定制御部によって、波長多重用光アンプがA L C動作するように制御される。これにより、雑音光の影響によるA L Cのモニタレベル誤差を軽減でき、精度の高いA L Cを実現することが可能になる。

【0022】加えて、上記の制御装置については、光分岐手段が、波長多重用光アンプに入力される波長多重信号光の一部を分岐する入力側分岐部と、波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部と、を有し、光分離手段が、入力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を偶数グループおよび奇数グループに分離する入力側分離部と、出力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を偶数グループおよび奇数グループに分離する出力側分離部と、を有し、光パワー測定手段が、入力側分離部で分離された偶数グループおよび奇数グループの各光パワーをそれぞれ測定する入力側光パワー測定部と、出力側分離部で分離された

偶数グループおよび奇数グループの各光パワーをそれぞれ測定する出力側光パワー測定部と、を有し、制御手段が、入力側光パワー測定部および出力側光パワー測定部でそれぞれ測定された、偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方に基づいて、波長多重用光アンプの出入力光のレベル差が一定となるように、波長多重用光アンプの動作を制御する利得一定制御部を有するようにしてもよい。

【0023】かかる構成では、波長多重用光アンプへの入力光および波長多重用光アンプからの出力光がそれぞれモニタされるようになり、入力側光パワー測定部および出力側光パワー測定部でそれぞれ測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方を基に、利得一定制御部によって、波長多重用光アンプがA G C動作するように制御される。これにより、雑音光の影響によるA G Cのモニタレベル誤差を軽減でき、精度の高いA G Cを実現することが可能になる。

【0024】また、前述の制御装置の制御手段については、外部からの選択信号に従って、光パワー測定手段で測定された偶数グループの光パワーおよび奇数グループの光パワーの一方を選択する選択部を有し、該選択部で選択された光パワーに基づいて、波長多重用光アンプの動作を制御するようにしてもよい。具体的には、偶数チャネルが増設または減設されるとき、選択部により奇数グループの光パワーを選択して制御を行い、奇数チャネルが増設または減設されるとき、選択部により偶数グループの光パワーを選択して制御を行うようにするのが好ましい。

【0025】かかる構成では、偶数グループと奇数グループのいずれのモニタ値を光アンプの制御に用いるかが外部より選択可能になる。また、波長チャネルの増設若しくは減設が行われる場合には、増減設される波長チャネルを含まない波長グループのモニタ値が選択されることで、波長チャネルの増減設の際にも、光アンプの動作制御が中断することなく継続して行われるようになる。

【0026】本発明による波長多重用光アンプの制御装置の他の態様は、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御装置において、波長多重信号光の一部を分岐する光分岐手段と、波長多重信号光の波長チャネル間隔に応じて周期的に変化する透過波長特性を有し、光分岐手段で分岐された波長多重信号光の一部を、各波長のチャネル光およびその近傍の雑音光を含む信号成分と、各波長のチャネル光の間の波長帯に存在する雑音光を含む雑音成分と、に分離する光分離手段と、該光分離手段で分離された信号成分の光パワーを測定可能な光パワー測定手段と、該光パワー測定手段で測定された信号成分の光パワーに基づいて、波長多重用光アンプの動作を制御する制御手段と、を備えて構成されるものである。

【0027】かかる構成では、波長多重用光アンプで取り扱われる波長多重信号光の一部が光分岐手段によって分岐され、該分岐された信号光は、光分離手段によって信号成分および雑音成分に分離され、光パワー測定手段によって少なくとも信号成分の光パワーが測定される。そして、測定された信号成分の光パワーに基づいて、制御手段により、波長多重用光アンプの動作が制御されるようになる。これにより、光アンプの制御に用いられるモニタ光に含まれる雑音光成分の割合が小さくなつて、雑音光の影響による制御誤差が軽減されるため、精度の高い制御動作を実現することが可能になる。

【0028】また、上記の制御装置については、光分岐手段が、波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部を有し、制御手段が、光パワー測定手段で測定された信号成分の光パワーに基づいて、出力光レベルが一定となるように波長多重用光アンプの動作を制御する出力レベル一定制御部を有するようにしてよい。

【0029】かかる構成では、波長多重用光アンプで増幅された波長多重信号光の一部が、出力側分岐部によってモニタ光として分岐され、さらに光分離手段によって信号成分および雑音成分に分離される。そして、光パワー測定手段で測定された信号成分の光パワーを基に、出力レベル一定制御部によって、波長多重用光アンプがALC動作するように制御される。これにより、雑音光の影響によるALCのモニタレベル誤差を軽減でき、精度の高いALCを実現することが可能になる。

【0030】さらに、上記の制御装置については、光分岐手段が、波長多重用光アンプに入力される波長多重信号光の一部を分岐する入力側分岐部と、波長多重用光アンプから出力される波長多重信号光の一部を分岐する出力側分岐部と、を有し、光分離手段が、入力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を信号成分および雑音成分に分離する入力側分離部と、出力側分岐部で分岐された波長多重信号光の一部を信号成分および雑音成分に分離する出力側分離部と、を有し、光パワー測定手段が、入力側分離部で分離された信号成分の光パワーを測定可能な入力側光パワー測定部と、出力側分離部で分離された信号成分の光パワーを測定可能な出力側光パワー測定部と、を有し、制御手段が、入力側光パワー測定部および出力側光パワー測定部でそれぞれ測定された各信号成分の光パワーに基づいて、波長多重用光アンプの入出力光のレベル差が一定となるように、波長多重用光アンプの動作を制御する利得一定制御部を有するようにしてもよい。

【0031】かかる構成では、波長多重用光アンプへの入力光および波長多重用光アンプからの出力光がそれぞれモニタされるようになり、入力側光パワー測定部および出力側光パワー測定部でそれぞれ測定された信号成分の光パワーを基に、利得一定制御部によって、波長多重

用光アンプがAGC動作するように制御される。これにより、雑音光の影響によるAGCのモニタレベル誤差を軽減でき、精度の高いAGCを実現することが可能になる。

【0032】加えて、上記の制御装置については、光パワー測定手段が、光分離手段で分離された信号成分および雑音成分の各光パワーを測定可能であるとともに、光パワー測定手段で測定された信号成分および雑音成分の各光パワーと、使用波長に関するチャネル情報を用いて、波長多重信号光のOSNRの平均値を算出するOSNR算出手段を備えるようにしてよい。

【0033】かかる構成では、光アンプの制御用としてモニタされる信号成分および雑音成分の各光パワーを利用して、波長多重信号光のOSNRの平均値が、OSNR算出手段により簡易的に算出されるようになる。

【0034】本発明による波長多重用光アンプの制御方法の1つの態様は、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御方法において、波長多重信号光を複数の波長グループに分離する光分離過程と、該光分離過程で分離した各波長グループを単位として光パワーを測定する光パワー測定過程と、該光パワー測定手段で測定された1つの波長グループの光パワーに基づいて、波長多重用光アンプの動作を制御する制御過程と、を含んでなる方法である。

【0035】また、本発明による波長多重用光アンプの制御方法の他の態様は、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重信号光を一括して増幅する波長多重用光アンプの動作を制御する制御方法において、波長多重信号光の一部を分岐して、各波長のチャネル光およびその近傍の雑音光を含む信号成分と、各波長のチャネル光の間の波長帯に存在する雑音光を含む雑音成分と、に分離する光分離過程と、該光分離過程で分離された信号成分の光パワーを測定する光パワー測定過程と、該光パワー測定過程で測定された信号成分の光パワーに基づいて、波長多重用光アンプの動作を制御する制御過程と、を含んでなる方法である。

【0036】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は、本発明による波長多重用光アンプの制御装置の基本構成を示す第1実施形態のプロック図である。第1実施形態では、波長多重用光アンプがALC動作するように制御を行う場合について説明する。

【0037】図1において、本装置は、光レベル制御部1と、出力側分岐部としての光カプラ2と、光分離手段としての波長チャネル分離フィルタ(Wavelength Channel Separate Filter、以下WCSFとする)3と、光パワー測定手段としての光／電気変換部4₁、4₂と、電気フィルタ(LPF)5₁、5₂と、モニタ信号選択制御部

6と、比較器7と、から構成される。ここでは、電気フィルタ(LPF)5₁, 5₂、モニタ信号選択制御部6および比較器7が出力レベル一定制御部として機能する。

【0038】光レベル制御部1は、入力信号光を一括して増幅可能な、例えば希土類元素ドープ光ファイバアンプ等の公知の光アンプを備えて構成される。また、上記光アンプで増幅されたWDM信号光のレベルを調整する可変光アッテネータを有するようにしてもよい。この光レベル制御部1では、光アンプの利得または可変光アッテネータの減衰量が比較器7からの出力信号に応じて調整されることで、出力レベルが一定に制御された出力信号光が生成される。

【0039】光カプラ2は、光レベル制御部1から出力される出力信号光の一部を分岐して、該分岐光をWCSF3のポートPcに送る。WCSF3は、WDM信号光の波長チャネル間隔に応じて周期的に変化する透過波長特性を有し、ポートPcに入力されたWDM信号光を偶数チャネル光を含む偶数グループと奇数チャネル光を含む奇数グループとに分離して、偶数グループをポートP1から出力し、奇数グループをポートP2から出力する。

【0040】図2は、WCSF3の透過波長特性を説明する図である。図2(A)は、ポートPcに入力されるWDM信号光の光電力の波長特性を示すものである。ここでは、例えば8つの波長λ1～λ8のチャネル光が等間隔で配置されている場合を考えることにする。なお、各チャネル光のスペクトラムピークの下部に見られるのがASE光成分である。

【0041】図2(B)は、WCSF3のポートPcからポートP1への透過波長特性を模式的に示したものである。具体的には、偶数波長λ2, λ4, λ6, λ8をそれぞれ中心とする所定の波長幅について透過率が高くなり、奇数波長λ1, λ3, λ5, λ7をそれぞれ中心とする所定の波長幅について透過率が低くなる。なお、ポートPcからポートP2への透過波長特性は、(B)の特性を反転させたものとなる。

【0042】図2(C)は、WCSF3のポートP1からの出力光についての光電力の波長特性を示すものであって、偶数波長λ2, λ4, λ6, λ8の各チャネル光およびその近傍のASE光を含んだ成分(偶数グループ)が、ポートP1から出力されることが分かる。また、図2(D)は、WCSF3のポートP2からの出力光についての光電力の波長特性を示すものであって、奇数波長λ1, λ3, λ5, λ7の各チャネル光およびその近傍のASE光を含んだ成分(奇数グループ)が、ポートP2から出力されることが分かる。

【0043】上記のような特性を有するWCSF3の具体例としては、例えば、U. S. Patent 5,809,190号明細で公知の技術を適用することが可能であり、また例えば、ITF Optical Technologies社製のMach-Zehnder I

interleaver™等を使用することもできる。ただし、本発明に用いるWCSFは上記のものに限定されるものではない。

【0044】各光／電気変換部4₁, 4₂は、WCSF3の各ポートP1, P2からそれぞれ出力される光信号を受光して電気信号に変換するものであり、WDM信号光の波長帯域に対応した一般的な受光器を用いることができる。

【0045】各電気フィルタ5₁, 5₂は、各光／電気変換部4₁, 4₂からそれぞれ出力される電気信号に含まれる不要な成分を除去すると共に、制御ループの時定数を調整する機能を具備するものである。

【0046】モニタ信号選択制御部6は、例えば外部等から与えられる選択信号SELに従って、電気フィルタ5₁, 5₂から出力される各信号のうちの一方を選択して出力するものであって、ここでは選択部として機能する。選択信号SELは、光レベル制御部1から出力されるWDM信号光に含まれる波長チャネル光の使用状況に応じ、ALCに用いるモニタ信号として偶数グループを用いるか奇数グループを用いるかを決定する信号である。偶数グループを用いる場合には、電気フィルタ5₁からの出力信号を選択して比較器7に出力し、奇数グループを用いる場合には、電気フィルタ5₂からの出力信号を選択して比較器7に出力する。

【0047】比較器7は、モニタ信号選択制御部6で選択されたモニタ信号と、WDM信号光に含まれる波長チャネル光の使用状況に応じて設定された基準信号とが入力され、基準信号レベルに対するモニタ信号レベルの大小関係が比較される。具体的には、例えば基準信号レベルとモニタ信号レベルの差に応じた信号等が生成され、該信号が光レベル制御部1に出力されるものとする。この比較器7からの出力信号を受けて、光レベル制御部1では、光アンプの利得または可変光アッテネータの減衰量が調整される。

【0048】上記のような構成の制御装置では、入力信号光が光レベル制御部1の光アンプで増幅された後(可変光アッテネータを有する場合には減衰された後)、光カプラ2を介して外部に出力されると共に、その出力信号光の一部が分岐されてWCSF3のポートPcに送られる。

【0049】WCSF3では、ポートPcから入力されたWDM信号光が偶数グループおよび奇数グループに分離され、ポートP1およびポートP2からそれぞれ出力される。ここで注目すべきは、各ポートP1, P2から出力されるASE光成分が、ポートPcに入力されるASE光成分に比べて半減することである(図2(A) (C) (D)を参照のこと)。すなわち、入力信号光に含まれる波長チャネル光の数(使用波長数)が少なかつた場合を考えてみると(例えば、図2(A)において、使用波長がλ1のみであった場合など)、WCSF3を

通過する前のA S E光成分は光アンプの増幅帯域全体に亘って存在するが、W C S F 3を通過した後、一方のポートから出力されるA S E光成分は通過前の約半分になっているため、後段の各光／電気変換部で検出されるトータル光パワーに占めるA S E光成分の割合が軽減されるようになる。このことは、使用波長数が少數の場合におけるA L Cのレベルモニタ誤差がW C S F 3を用いることによって改善されることを意味する。

【0050】W C S F 3で偶数グループおよび奇数グループに分離された各光信号は、光／電気変換部4₁、4₂で光電変換された後に各電気フィルタ5₁、5₂を通してモニタ信号選択制御部6にそれぞれ送られる。モニタ信号選択制御部6では、外部からの選択信号S E Lに従つて、電気フィルタ5₁からの出力信号（偶数グループのトータル光レベルに対応）および電気フィルタ5₂からの出力信号（奇数グループのトータル光レベルに対応）の一方が選択され、A L Cのモニタ信号として出力される。例えば、上記のように使用波長がλ1のみであった場合には、奇数グループを選択するように設定された選択信号S E Lに従つて、電気フィルタ5₂からの出力信号が選択されて比較器7に送られる。選択信号S E Lの設定方法としては、偶数波長と奇数波長において使用波長が多い方を選択するような設定にするのが望ましい。このように設定することで、選択された光信号のトータル光パワーに占めるA S E光成分の割合をより軽減することができる。

【0051】モニタ信号選択制御部6からのモニタ信号を受けた比較器7では、モニタ信号レベルが基準信号レベルと比較されて、レベル差に応じた出力信号が光レベル制御部1に送られる。ここで用いられる基準信号は、選択されたモニタ信号に含まれる使用波長数に応じて設定された信号であり、例えば、使用波長がλ1のみであった場合には、波長λ1のチャネル光について要求される光パワーに、W C S F 3で奇数グループとして分離され得るA S E光パワーを加えた値に対応した信号レベルとされる。

【0052】光レベル制御部1では、比較器7からの出力信号で示されるレベル差に応じて、光アンプの利得が制御される（可変光アッテネータを有する場合には、光減推量が制御されるようにしてもよい）。光アンプの利得が制御される場合を具体的に考えてみると、モニタ信号レベルが基準信号レベルよりも大きいときには、光アンプの利得がレベル差に対応した分だけ小さくなるように調整され、一方、モニタ信号レベルが基準信号レベルよりも小さいときには、光アンプの利得がレベル差に対応した分だけ大きくなるように調整される。これにより、出力信号光レベルは、基準信号に対応した所要の一定レベルに制御されるようになる。

【0053】ここで、使用波長チャネルが増設または減設されるときにおける本装置の制御動作について説明す

る。ただし、同時に増設または減設される波長チャネルは、偶数波長または奇数波長のいずれかであるものとする。

【0054】例えば、図2(A)に示したように波長λ1～λ8のすべてが使用されている状態から、波長λ8のチャネル光が使用されなくなるような減設が行われる場合を考える。この場合には、選択信号S E Lが奇数グループに対応するモニタ信号を必ず選択するように設定されると共に、基準信号が奇数グループに対応したレベルに設定されて、減設の際にも、減設チャネルを含まない奇数グループのモニタ光パワーに基づくA L Cが実施される。これにより、従来、減設時には中断されていたA L C動作が継続的に行われるようになる。増設時についても上記の場合と同様にして、増設される波長チャネルを含まない成分のモニタ光パワーに基づくA L Cが継続的に実施される。

【0055】上記のように第1実施形態によれば、A L Cのモニタ光として分岐した出力信号光の一部をW C S F 3を用いて偶数グループと奇数グループに分離し、一方の成分のモニタ光パワーに基づいて光レベル制御部1を出力レベル一定制御するようにしたことで、A S E光成分によるA L Cのレベルモニタの誤差が軽減されるため、精度の高いA L C動作を実現することが可能になる。また、波長チャネルの増設または減設を行う際にも、A L C動作を継続的に行うことができるため、例えば、伝送路損失の変動等による入力信号光レベルのドリフトを増減設時にも抑圧可能なW D M用光アンプの制御装置を提供することが可能である。

【0056】次に、本発明の第2実施形態について説明する。ここでは、波長多重用光アンプがA G C動作するように制御を行う場合について考える。図3は、本発明による波長多重用光アンプの制御装置の基本構成を示す第2実施形態のブロック図である。ただし、第1実施形態の構成と同じ部分には同一の符号が付してあり、以下同様とする。

【0057】図3の制御装置は、第1実施形態の構成について、光レベル制御部1の入力側にも入力信号光の一部をモニタする構成を配置し、入出力光のレベル差を基に光レベル制御部1をA G C動作させるものである。具体的には、第1実施形態の出力側の構成と同様にして、光レベル制御部1の入力側についても、入力信号光の一部を分岐する光カプラ8と、該光カプラ8で分岐された光信号を偶数グループおよび奇数グループに分離するW C S F 9と、該W C S F 9のポートP1から出力される偶数グループの光信号を電気信号に変換する光／電気変換部10₁と、W C S F 9のポートP2から出力される奇数グループの光信号を電気信号に変換する光／電気変換部10₂と、各光／電気変換部10₁、10₂からそれぞれ出力される電気信号に含まれる不要な成分を除去すると共に、A G Cのループ時定数を調整する機能を具備

する電気フィルタ（L PF） $1_{11}, 1_{12}$ と、各電気フィルタ $1_{11}, 1_{12}$ から出力される各信号のうちの一方を選択信号S E Lに従い選択して出力するモニタ信号選択制御部12とが設けられる。そして、入力側のモニタ信号選択制御部12から出力されるモニタ信号のレベルと、出力側のモニタ信号選択制御部6から出力されるモニタ信号のレベルとが比較器7'において比較され、該比較結果に応じて、入出力光のレベル差が一定となるように光レベル制御部1の動作が制御される。

【0058】従って、第2実施形態では、光カプラ8および光カプラ2が入力側分岐部および出力側分岐部に相当し、WCSF9およびWCSF3が入力側分離部および出力側分離部に相当し、光／電気変換部 $1_{01}, 1_{02}$ および光／電気変換部 $4_1, 4_2$ が入力側光パワー測定部および出力側光パワー測定部に相当し、電気フィルタ $1_{11}, 1_{12}, 5_1, 5_2$ 、モニタ信号選択制御部13、6および比較器7'が利得一定制御部に相当する。

【0059】上記のような構成の制御装置では、光レベル制御部1に対して入出力される各WDM信号光の一部が光カプラ8、2で分岐されて各WCSF9、3のポートPcにそれぞれ送られる。各WCSF9、3では、ポートPcに入力されたWDM信号光が偶数グループおよび奇数グループに分離され、ポートP1およびポートP2からそれぞれ出力される。各WCSF9、3のポートP1、P2からの出力光は、各々のポートに接続された光／電気変換部 $1_{01}, 1_{02}, 4_1, 4_2$ でそれぞれ電気信号に変換された後に、電気フィルタ $1_{11}, 1_{12}, 5_1, 5_2$ をそれぞれ介して各モニタ信号選択制御部12、6に送られる。

【0060】各モニタ信号選択制御部12、6では、第1実施形態の場合と同様にして、外部からの選択信号S E Lに従って、電気フィルタ $1_{11}, 5_1$ からの出力信号（偶数グループのトータル光レベルに対応）および電気フィルタ $1_{12}, 5_2$ からの出力信号（奇数グループのトータル光レベルに対応）の一方が選択され、AGCのモニタ信号として比較器7'にそれぞれ出力される。そして、比較器7'では、入力側のモニタ信号選択制御部12からのモニタ信号レベルと、出力側のモニタ信号選択制御部6からのモニタ信号レベルとが比較され、レベル差に応じた出力信号が光レベル制御部1に送られる。この入出力光のレベル差が、光レベル制御部1における利得に対応することになる。光レベル制御部1では、比較器7'からの出力信号で示されるレベル差が、予め設定されたレベル差（利得）で一定となるように、例えば光アンプ等の光増幅動作（利得設定）が調整される。

【0061】また、使用波長チャネルが増設または減設されるときには、上述した第1実施形態の場合と同様にして、増設または減設される波長チャネルを含まない偶数グループまたは奇数グループに対応するモニタ信号が選択されAGCが継続される。これにより、増減設を行

う際に発生するレベル変動の振幅や速度について、AGCの制御ループの応答速度による制限が軽減されるようになる。

【0062】上記のように第2実施形態では、AGCのモニタ光として分岐した、入力信号光の一部および出力信号光の一部をWCSF9およびWCSF3を用いて偶数グループと奇数グループにそれぞれ分離し、一方の成分のモニタ光パワーに基づいて光レベル制御部1を利得一定制御するようにしたこと、ASE光成分によるAGCのレベルモニタ誤差が軽減されると共に、波長チャネルの増設または減設時におけるAGCの制御ループの応答速度による制限が軽減されるため、より精度の高いAGC動作を実現することが可能になる。

【0063】次に、本発明の第3実施形態について説明する。ここでは、上述した第1、2実施形態の各基本構成を組み合わせてALCとAGCとを同時に実現させたWDM用光アンプの制御装置の具体例について考える。

【0064】図4は、第3実施形態にかかるWDM用光アンプの制御装置の構成を示す図である。図4において、本装置は、例えば、前段光増幅部1Aおよび後段光増幅部1Bを可変光アッテネータ1Cを介して継続接続した2段増幅構成のWDM用光アンプについて、上述した第1、2実施形態の各基本構成を適用したものである。

【0065】具体的には、上述の光レベル制御部1に相当する、前段光増幅部1Aおよび後段光増幅部1Bのそれぞれに対し、上述の図3に示した基本構成を適用して、各段の光増幅部1A、1BをAGC動作させると共に、後段光増幅部1Bの出力側に配置したモニタ信号選択制御部6から出力されるモニタ信号に基づいて、出力信号光のレベルが一定になるように中段の可変光アッテネータ1Cの減衰量を制御するALC回路（比較器）7が設けられる。なお、前段および後段の各光増幅部1A、1Bに対応して設けられた各々のAGC回路7'は、図3に示した比較器と同様の機能を有するものである。

【0066】前段光増幅部1Aおよび後段光増幅部1Bの具体例として、図4にはエルビウムドープ光ファイバアンプの基本構成を示した。すなわち、各光増幅部1A、1Bは、エルビウムドープ光ファイバ(EDF)1aと、EDF1aを励起状態とすることが可能な波長帯の励起光を発生する励起光源(LD)1bと、該励起光源1bで発生した励起光をEDF1aに供給するWDMカプラ1cとを有する構成であって、励起光源1bの駆動状態がAGC回路7'からの出力信号に応じて調整されることにより、光増幅の利得が一定に制御される。

【0067】なお、図4には前方励起型の構成を示したが、本発明が適用される光増幅部の構成は、後方励起型や双方向励起型の構成であってもよい。加えて、ここではエルビウムドープ光ファイバアンプを用いる場合を示

したが、本発明はこれに限らず、エルビウム以外の他の希土類元素をドープした希土類元素ドープ光ファイバアンプや半導体光増幅器等に対しても適用することが可能である。

【0068】また、本装置は、外部より送られるOSC信号光を処理して、各モニタ信号選択制御部6、12に送る選択信号SELを生成するための構成を備えるものとする。具体的には、OSC受光部(OSC O/E)20と、光アンプ総合制御部21と、OSC発光部(OSC E/O)22と、が設けられる。OSC受光部20は、入力信号光に含まれるOSC信号光を抽出して電気信号に変換するものである。光アンプ総合制御部21は、OSC受光部20からの出力信号を用いて入力信号光に含まれる主信号光のチャネル情報を識別し、該チャネル情報を基に選択信号SELを生成すると共に、識別したチャネル情報のうちの必要な情報を再度OSC信号光に乗せて下流側に転送するための電気信号を生成する。OSC発光部22は、光アンプ総合制御部21から出力される電気信号に従ってOSC信号光を生成するものである。

【0069】さらに、本装置は、光アンプ総合制御部21で識別されたチャネル情報および選択信号SELに基づいて、ALCの基準レベルを設定する基準信号を発生するALC基準信号制御部23も備えるものとする。

【0070】上記のような構成の制御装置では、入力信号光に含まれる主信号光が前段光増幅部1Aに送られて増幅されると共に、入力信号光に含まれるOSC信号光がOSC受光部20で光電変換されて光アンプ総合制御部21に送られる。前段光増幅部1Aへの入力光の一部および前段光増幅部1Aからの出力光の一部は、第2実施形態の場合と同様にして、WCSF9、3を介してモニタされ、選択信号SELに従って各モニタ信号選択制御部12、6で選択された偶数グループおよび奇数グループの一方に対応するモニタ信号がAGC回路7'に送られる。AGC回路7'では、各モニタ信号選択制御部12、6からのモニタ信号を基に入出力光のレベル差が判断されて、前段光増幅部1Aを利得一定で動作させる制御信号が出力される。

【0071】このとき各モニタ信号選択制御部12、6で用いられる選択信号SELは、光アンプ総合制御部21で生成された信号が用いられる。光アンプ総合制御部21においては、OSC受光部20を介して入力されるOSC信号光に対応した電気信号を基に、主信号光に含まれる波長チャネルの番号、チャネル数、増設または減設に関する情報を示すチャネル情報が識別され、該チャネル情報に従って偶数グループおよび奇数グループの一方の選択を指示する選択信号SELが生成される。この選択信号SELは、前段側および後段側の各モニタ信号選択制御部12、6にそれぞれ送られると共に、ALC基準信号制御部23にも送られる。また、識別されたチ

ヤネル情報は、前段側および後段側の各AGC回路7'およびALC回路7に送られ、AGCおよびALCの設定基準の変更に用いられる。さらに、光アンプ総合制御部21では、識別したチャネル情報のうちの必要な情報をOSC発光部22を介してOSC信号光として外部に送信する。

【0072】AGC動作する前段光増幅部1Aで増幅された主信号光は、可変光アッテネータ1Cを介して後段光増幅部1Bに送られ増幅される。後段光増幅部1Bへの入力光の一部および後段光増幅部1Bからの出力光の一部についても、上記前段側の場合と同様にして、偶数グループおよび奇数グループの一方が選択的にモニタされ、AGC回路7'により後段光増幅部1Bが利得一定制御される。また、出力側のモニタ信号選択制御部6から出力されるモニタ信号は、ALC回路7'にも送られる。ALC回路7'では、上述した第1実施形態の場合と同様にして、モニタ信号選択制御部6からのモニタ信号レベルとALC基準信号制御部23からのALC基準信号レベルとが比較され、該比較結果に応じて、主信号光の出力レベルが一定となるように可変光アッテネータ1Cの減衰量を調整する制御信号が出力される。

【0073】上記のような制御動作により、前段光増幅部1Aおよび後段光増幅部1BはそれぞれAGC動作し、また、可変光アッテネータ1Cの減衰量がフィードバック制御されることで光アンプ全体としてALC動作するようになる。

【0074】波長チャネルの増設または減設が生じた場合には、上述の第1実施形態において説明したのと同様に、増減設される波長チャネルを含んでいない偶数グループまたは奇数グループに対応するモニタ信号が選択信号SELによって選択されることで、増減設時においてもALCおよびAGCの各動作が維持される。

【0075】図5は、波長チャネルの増設（減設）時ににおける具体的な制御動作の一例を示したフローチャートである。図5に示すように、波長チャネルの増設（減設）が生じた場合には、まず、ステップ1（図中S1で示し、以下同様とする）で、図示しない送信（上流）側端局装置より受信（下流）側装置に向けて、波長チャネルの増設（減設）に関する情報が送信される。ステップ402では、波長チャネルの増設（減設）に関する情報がOSC信号光を介して本装置の光アンプ総合制御部21で受信される。

【0076】そして、ステップ3では、光アンプ総合制御部21において、増設（減設）の対象が偶数チャネルであるか奇数チャネルであるかが判定される。偶数チャネルと判定された場合にはステップ41に進む。

【0077】ステップ41では、増設（減設）前において選択されているモニタ信号が偶数グループに対応したものであるか否かが判定される。偶数グループが選択されている場合には、ステップ51に進み、選択信号SE

しが奇数グループを選択する内容を示すものに変更される。一方、奇数グループが選択されている場合には、現状の選択信号SELを維持してステップ6₁に移る。そして、ステップ6₁では、ALC基準信号が奇数グループに対応したものに更新され、ステップ7に移る。

【0078】また、上記のステップ3で増設（減設）の対象が奇数チャネルと判定された場合には、ステップ4₂に進んで、増設（減設）前において選択されているモニタ信号が奇数グループに対応したものであるか否かが判定される。奇数グループが選択されている場合には、ステップ5₂に進み、選択信号SELが偶数グループを選択する内容を示すものに変更される。一方、偶数グループが選択されている場合には、現状の選択信号SELを維持してステップ6₂に移る。そして、ステップ6₂では、ALC基準信号が偶数グループに対応したものに更新され、ステップ7に移る。

【0079】ステップ7では、波長チャネルの増設（減設）の準備が完了したことが、図示しないが逆方向のOSC信号光を経由して上流側の端局に通知される。そして、ステップ8では、下流側の装置からの増設（減設）準備完了の通知を受けた端局にて波長チャネルの増設（減設）が実施される。

【0080】このように第3実施形態によれば、例えば2段増幅構成の公知のWDM用光アンプについて、WCSFを利用したレベルモニタ方式により、前段および後段の各光増幅部1A、1BのAGCとALCを同時に実施するようにしたこと、ASE光成分によるレベルモニタ誤差が軽減された、より一層精度の高いWDM信号光の増幅動作を実現できる。また、OSC信号光を利用して選択信号SELを生成するようにしたことで、各種WDM光伝送システムにおける光増幅中継装置としての本発明の適用を容易に行うことが可能である。

【0081】なお、上述した第1～3実施形態では、WDM信号光をWCSFを用いて偶数グループと奇数グループに分離するようにしたが、本発明はこれに限らず、WDM信号光を複数の波長グループに分割しさえすれば、ASE光成分によるレベルモニタ誤差の軽減を図ることが可能である。例えば、図6(A)に示すように、WDM信号光について、信号光帯域の中心付近を境に第1波長グループと第2波長グループに分け、一方の波長グループ(図では第1波長グループ)について測定した光パワーを基に光アンプを制御してもよい。また例えば、図6(B)に示すように、WCSFを用いて、隣り合う2以上の波長チャネル(図では隣り合う2つの波長チャネル)を1つのまとまりとして周期的に分離するようにも構わない。

【0082】次に、本発明の第4実施形態について説明する。第4実施形態では、上述した第1～3実施形態が、モニタ用として分岐したWDM信号光をWCSFを用いて偶数グループと奇数グループに分離し一方の成分

を選択してALCやAGCを行うものであったのに対し、WCSFの周期的な透過波長特性を変更して、モニタ用信号光を信号成分と雑音成分とに分離してALCを行うようにした場合を考える。

【0083】図7は、第4実施形態にかかる波長多重用光アンプの制御装置の構成を示す図である。図7において、本装置の構成が上述の図1に示した第1実施形態の構成と異なる部分は、WCSF3に代えて周期的な透過波長特性の異なるWCSF3'を使用すると共に、モニタ信号選択制御部6を省略して電気フィルタ5₁からの出力信号を比較器7に送る構成とし、さらに、出力信号光のOSNRを監視するOSNR算出手段としてのOSNRモニタ13を設けた部分である。上記以外の他の部分の構成は第1実施形態の場合と同様であるためここでの説明を省略する。

【0084】WCSF3'は、WDM信号光の波長チャネル間隔に応じて周期的に変化する透過波長特性を有し、ポートPcに入力されたWDM信号光を、各波長のチャネル光およびその近傍の雑音光を含む信号成分と、各波長のチャネル光の間の波長帯に存在する雑音光を含む雑音成分とに分離して、信号成分をポートP1から出力し、雑音成分をポートP2から出力するものである。

【0085】図8は、WCSF3'の透過波長特性を説明する図である。図8(A)は、ポートPcに入力されるWDM信号光の光電力の波長特性を示すものである。ここでは、例えば8つの波長λ1～λ8のチャネル光が等間隔で配置されている場合を考えることにする。なお、各チャネル光のスペクトラムピークの下部に見られるのがASE光成分である。

【0086】図8(B)は、WCSF3'のポートPcからポートP1への透過波長特性を模式的に示したものである。具体的には、各波長λ1～λ8をそれぞれ中心とする所定の波長幅について透過率が高くなり、各波長λ1～λ8の中間に位置する所定の波長幅について透過率が低くなる。なお、ポートPcからポートP2への透過波長特性は、(B)の特性を反転させたものとなる。

【0087】図8(C)は、WCSF3'のポートP1からの出力光についての光電力の波長特性を示すものであって、各波長λ1～λ8のチャネル光およびその近傍のASE光を含んだ信号成分が、ポートP1から出力されることが分かる。また、図8(D)は、WCSF3'のポートP2からの出力光についての光電力の波長特性を示すものであって、各波長λ1～λ8のチャネル光を含まない中間波長域のASE光成分が、ポートP2から出力されることが分かる。

【0088】OSNRモニタ13は、電気フィルタ5₁から出力される信号成分に対応した電気信号と、電気フィルタ5₂から出力される雑音成分に対応した電気信号とに基づいて、出力信号光についてのOSNRの平均値を演算し、その結果をOSNRモニタ信号として出力す

るものである。

【0089】ここで、OSNRモニタ13におけるOSNRの演算方法について具体的に説明する。まず、図8(C)に示すように、WCSF3'のポートP1から出力される信号成分のトータル光パワー $P_{1\text{total}}$ は、各波長チャネル光のパワー(信号光トータルパワー) $P_{SIG-total}$ および各波長チャネル光の近傍のASE光パワー $P_{ASE1-total}$ の各値を用いて、次の(1)式で表すことができる。

【0090】

$$P_{1\text{total}} = P_{SIG-total} + P_{ASE1-total} \quad \dots (1)$$

また、図8(D)に示すように、WCSF3'のポートP2から出力される雑音成分のトータル光パワー $P_{2\text{total}}$ は、各波長チャネル光の中間波長域におけるASE光パワー $P_{ASE2-total}$ の各値を用いて、次の(2)式で表すことができる。

【0091】 $P_{2\text{total}} = P_{ASE2-total} \quad \dots (2)$

ここで、 $P_{ASE1-total} = P_{ASE2-total}$ と考えることができる。

$$P_{ASE-average} = P_{ASE-total} \times \Delta \lambda_{ch} / \Delta \lambda \quad \dots (6)$$

従って、出力信号光についてのOSNRの平均値 $OSNR_{average}$ は、上記(3)式~(6)式を用いることに

$$\begin{aligned} OSNR_{average} &= P_{SIG-average} / P_{ASE-average} \\ &= \{ (P_{1\text{total}} - P_{2\text{total}}) \times \Delta \lambda_{ch} \} \\ &\quad / (P_{2\text{total}} \times 2 \times m \times \Delta \lambda) \quad \dots (7) \end{aligned}$$

上記のような構成の制御装置では、第1実施形態の場合と同様にして、入力信号光が光レベル制御部1で増幅等された後、光カプラ2を介して外部に出力されると共に、その出力信号光の一部が分岐されてWCSF3'のポートPcに送られる。

【0096】WCSF3'では、ポートPcから入力されたWDM信号光が信号成分および雑音成分に分離され、ポートP1およびポートP2からそれぞれ出力される。ここで注目すべきは、ポートP1から出力されるモニタ光に含まれるASE光成分の割合が、ポートPcに入力されるモニタ光に含まれるASE光成分の割合に比べて、使用波長チャネル数に関係なく約半分に減少することである(図8(A)(C)(D)を参照のこと)。これにより、後段の光/電気変換部41で検出されるトータル光パワーに占めるASE光成分の割合が軽減され、ALCのレベルモニタ誤差がWCSF3'を用いることによって改善されるようになる。

【0097】WCSF3'で分離された信号成分および雑音成分の各光信号は、光/電気変換部41, 42で光電変換された後に電気フィルタ51, 52に送られる。そして、電気フィルタ51から出力される信号成分に対応したモニタ信号は、比較器7およびOSNRモニタ13に送られ、一方、電気フィルタ52から出力される雑音成分に対応したモニタ信号は、OSNRモニタ13に送られる。

【0098】比較器7では、第1実施形態の場合と同様

きるため、上記(1)式および(2)式より、信号光トータルパワー $P_{SIG-total}$ は次の(3)式で表すことができると共に、雑音光トータルパワー $P_{ASE-total}$ は次の(4)式で表すことができる。

【0092】

$$P_{SIG-total} = P_{1\text{total}} - P_{2\text{total}} \quad \dots (3)$$

$$P_{ASE-total} = P_{2\text{total}} \times 2 \quad \dots (4)$$

ここで、1つの波長チャネル光あたりの平均の光パワー $P_{SIG-average}$ は、使用されている波長チャネル数をmとして、次の(5)式で表される。

【0093】

$$P_{SIG-average} = P_{SIG-total} / m \quad \dots (5)$$

また、1つの波長チャネル光あたりの平均の雑音光パワー $P_{ASE-average}$ は、光アンプの増幅帯域幅を $\Delta \lambda$ とし、また、例えば受信局におけるDMUX等の波長チャネル帯域幅(規格化帯域幅)を $\Delta \lambda_{ch}$ として、次の(6)式で表される。

【0094】

$$P_{ASE-average} = P_{ASE-total} \times \Delta \lambda_{ch} / \Delta \lambda \quad \dots (6)$$

従って、出力信号光についてのOSNRの平均値 $OSNR_{average}$ は、上記(3)式~(6)式を用いることにより、次の(7)式で表すことができる。

【0095】

にして、電気フィルタ51からのモニタ信号レベルが基準信号レベルと比較され、レベル差に応じた出力信号が光レベル制御部1に送られる。なお、ここで用いられる基準信号は、入力信号光に含まれる使用波長数に応じて設定された信号である。光レベル制御部1では、比較器7からの出力信号で示されるレベル差に応じて光アンプの利得等が調整され、出力信号光のレベルを一定にする制御が行われる。

【0099】また、OSNRモニタ13では、電気フィルタ51からのモニタ信号で示される $P_{1\text{total}}$ の値と、電気フィルタ52からのモニタ信号で示される $P_{2\text{total}}$ の値と、使用波長に関するチャネル情報(具体的には、使用波長数m、光アンプの増幅帯域幅 $\Delta \lambda$ および規格化帯域幅 $\Delta \lambda_{ch}$)とを用いて、上記(7)式の関係により、出力信号光についてのOSNRの平均値 $OSNR_{average}$ が演算され、その結果がOSNRモニタ信号として出力される。

【0100】上記のように第4実施形態によれば、ALCのモニタ光として分岐した出力信号光の一部をWCSF3'を用いて信号成分と雑音成分に分離し、信号成分のモニタ光パワーに基づいて光レベル制御部1を出力レベル一定制御するようにしたことで、ASE光成分によるALCのレベルモニタ誤差が軽減されるため、精度の高いALC動作を実現することが可能になる。また、WCSF3'で分離した信号成分および雑音成分に対応するモニタ信号を利用することにより、出力信号光につい

ての平均のOSNRが、光信号のスペクトラムを測定することなく、簡易的にモニタできる。

【0101】次に、本発明の第5実施形態について説明する。ここでは、モニタ用として分岐したWDM信号光をWCSFを用いて信号成分と雑音成分とに分離してAGCを行うようにした場合を考える。

【0102】図9は、第5実施形態にかかる波長多重用光アンプの制御装置の構成を示す図である。図9において、本装置は、上記第4実施形態の構成について、光レベル制御部1の入力側にも入力信号光の一部をモニタする構成を配置し、入出力光のレベル差を基に光レベル制御部1をAGC動作させるものである。また、上述の図3に示した第3実施形態の構成と比較した場合に本装置の構成が異なる部分は、入力側のWCSF9および出力側のWCSF3に代えて、WCSF9'およびWCSF3'をそれぞれ使用すると共に、入力側および出力側の各モニタ信号選択制御部12, 6を省略して、電気フィルタ111, 51からの各出力信号を比較器7'に送る構成とし、さらに、入力信号光のOSNRを監視するOSNRモニタ14および出力信号光のOSNRを監視するOSNRモニタ13をそれぞれ設けた部分である。

【0103】WCSF9'は、上述の図8に示したWCSF6'と同様の通過波長特性を有し、光カプラ8で分岐された入力信号光の一部を信号成分および雑音成分に分離して、信号成分をポートP1から出力し、雑音成分をポートP2から出力するものである。

【0104】OSNRモニタ14は、上述の第4実施形態で詳しく説明した出力側のOSNRモニタ13と同様の機能を有し、電気フィルタ111から出力される信号成分に対応した電気信号と、電気フィルタ112から出力される雑音成分に対応した電気信号に基づいて、入力信号光についてのOSNRの平均値を演算し、その結果をOSNRモニタ信号として出力するものである。

【0105】上記のような構成の制御装置では、光レベル制御部1に対して入出力される各WDM信号光の一部が光カプラ8, 2で分岐されて各WCSF9', 3'のポートPcにそれぞれ送られる。各WCSF9', 3'では、ポートPcに入力されたWDM信号光が信号成分および雑音成分に分離され、ポートP1およびポートP2からそれぞれ出力される。各WCSF9', 3'のポートP1, P2からの出力光は、各々のポートに接続された光/電気変換部101, 102, 41, 42で電気信号に変換された後に、電気フィルタ111, 112, 51, 52にそれぞれ送られる。そして、電気フィルタ111, 51から出力される信号成分に対応した各モニタ信号は、比較器7'に送られると共に、OSNRモニタ14, 13に送られ、一方、電気フィルタ112, 52から出力される雑音成分に対応したモニタ信号は、OSNRモニタ14, 13に送られる。

【0106】比較器7'では、第2実施形態の場合と同

様にして、入力側の電気フィルタ111からのモニタ信号レベルと、出力側の電気フィルタ51からのモニタ信号レベルとが比較され、レベル差に応じた出力信号が光レベル制御部1に送られる。光レベル制御部1では、比較器7'からの出力信号に応じて光アンプ等の光増幅動作(利得設定)が調整され、利得一定制御が行われる。

【0107】また、入力側および出力側の各OSNRモニタ14, 13では、電気フィルタ111, 51からのモニタ信号で示されるP1_{total}の値と、電気フィルタ112, 52からのモニタ信号で示されるP2_{total}の値と、使用波長に関するチャネル情報を用いて、上記(7)式の関係により、入力信号光および出力信号光についての各OSNRの平均値OSNR_{average}が演算され、その結果がOSNRモニタ信号としてそれぞれ出力される。

【0108】上記のように第5実施形態によれば、AGCのモニタ光として分岐した入力信号光の一部および出力信号光の一部をWCSF9'およびWCSF3'を用いて信号成分と雑音成分にそれぞれ分離し、各信号成分のモニタ光パワーに基づいて光レベル制御部1を利得一定制御するようにしたことで、ASE光成分によるAGCのレベルモニタ誤差が軽減されるため、精度の高いAGC動作を実現することが可能になる。また、WCSF9'およびWCSF3'でそれぞれ分離した信号成分および雑音成分に対応するモニタ信号を利用することにより、入力信号光および出力信号光についての各平均OSNRが、光信号のスペクトラムを測定することなく、簡易的にモニタできる。

【0109】なお、上記の第5実施形態では、入力側および出力側の両方についてOSNRモニタを設けるようにしたが、本発明はこれに限らず、入力側若しくは出力側の一方にだけOSNRモニタを設けるようにしても構わない。また、OSNRをモニタする必要がない場合には、OSNRモニタを省略することも可能である。さらに、上述した第3実施形態の場合と同様にして、第4実施形態の構成と第5実施形態の構成とを組み合わせてALCとAGCとを同時に実現させる応用も可能であることは明らかである。

【0110】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による波長多重用光アンプの制御装置および制御方法によれば、光アンプの制御用として用いるモニタ光を、例えば偶数グループおよび奇数グループ等の複数の波長グループに分離し、1つの波長グループについて測定された光パワーに基づいて、光アンプの動作を制御するようにしたことで、雑音光の影響による制御誤差が軽減されるため、精度の高い光アンプのレベル制御を実現できる。

【0111】また、波長チャネルの増設または減設を行う場合にも、増減設される波長チャネルを含まない波長グループを選択して光アンプの制御を行うようにしたこ

とで、A L Cを継続して行うことができ、伝送路の損失の変動等による入力信号光レベルのドリフトを抑圧することが可能になる。

【0112】さらに、波長チャネルの増減設時における、A G Cの制御ループの応答速度による制限も軽減することができる。加えて、光アンプの制御用としてモニタされる信号成分および雑音成分の各光パワーを利用して、波長多重信号光のO S N Rの平均値を簡易的に算出することも可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の構成を示すブロック図である。

【図2】同上第1実施形態で用いるW C S Fの透過波長特性を説明する図である。

【図3】本発明の第2実施形態の構成を示すブロック図である。

【図4】本発明の第3実施形態の構成を示すブロック図である。

【図5】同上第3実施形態の波長チャネル増設（減設）時における動作の一例を示したフローチャートである。

【図6】第1～3実施形態で関連した他の光分離手段の特性例を説明する図である。

【図7】本発明の第4実施形態の構成を示すブロック図である。

【図8】同上第4実施形態で用いるW C S Fの透過波長特性を説明する図である。

【図9】本発明の第5実施形態の構成を示すブロック図である。

【図10】一般的なA L C方式の構成例を示すブロック図である。

【図11】一般的なA G C方式の構成例を示すブロック図である。

【図12】一般的なA L C方式において波長チャネル数が変動した時の変化を示す図である。

【図13】一般的なA G C方式において波長チャネル数が変動した時の様子を示す図である。

【図14】増幅された光波長多重伝送信号のスペクトラム例を示す図である。

【符号の説明】

1…光レベル制御部

2, 8…光カプラ

3, 3', 9, 9'…波長チャネル分離フィルタ（W C S F）

4₁, 4₂, 10₁, 10₂…光／電気変換部

5₁, 5₂, 11₁, 11₂…電気フィルタ

6, 12…モニタ信号選択制御部

7, 7'…比較器

13, 14…O S N Rモニタ

1 A…前段光増幅部

1 B…後段光増幅部

1 C…可変光アッテネータ

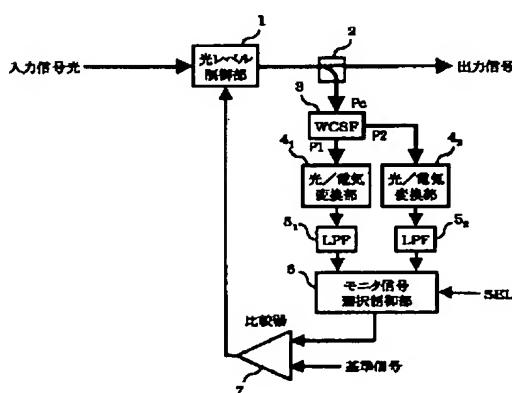
2 0…O S C受光部

2 1…光アンプ総合制御部

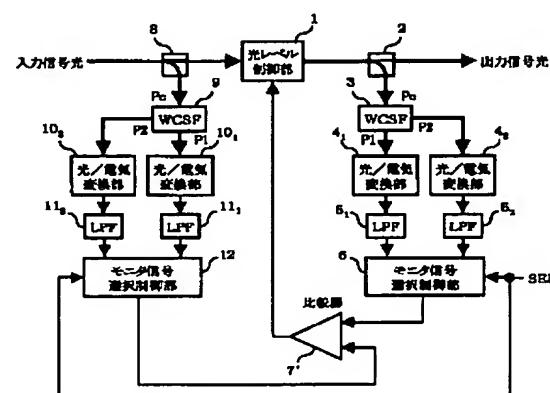
2 2…O S C発光部

2 3…A L C基準信号制御部

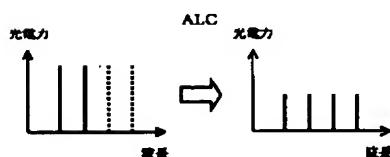
【図1】



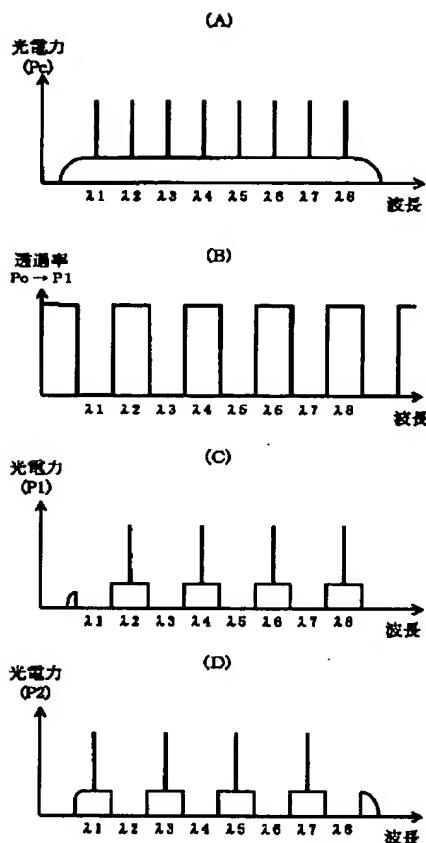
【図3】



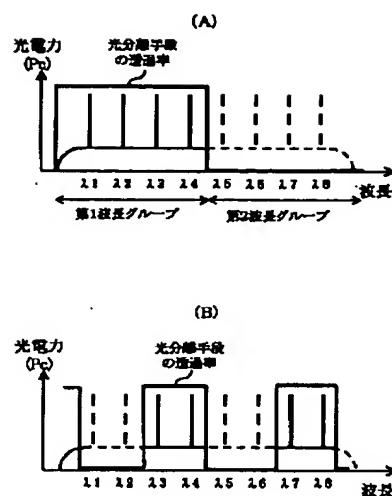
【図12】



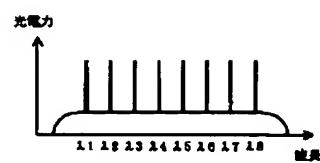
【図2】



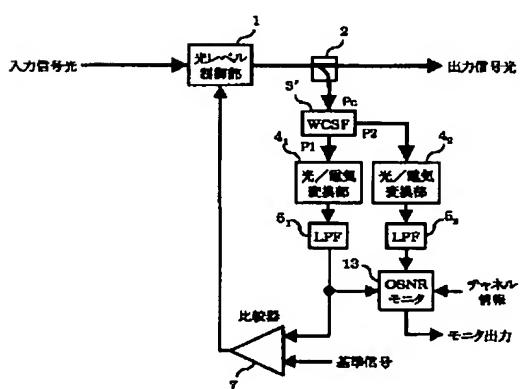
【図6】



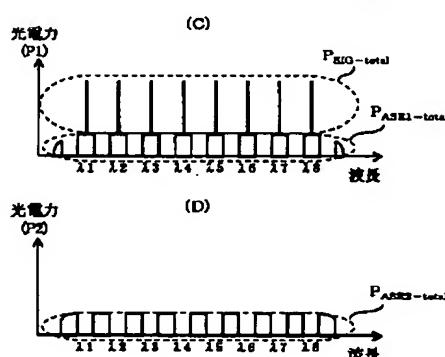
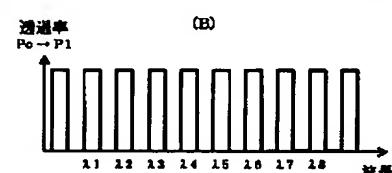
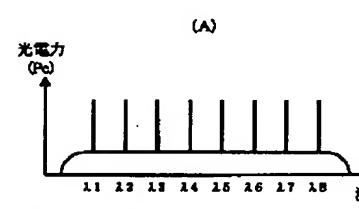
【図14】



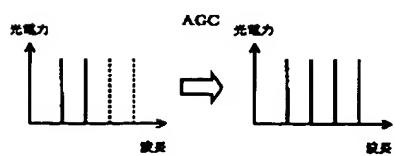
【図7】



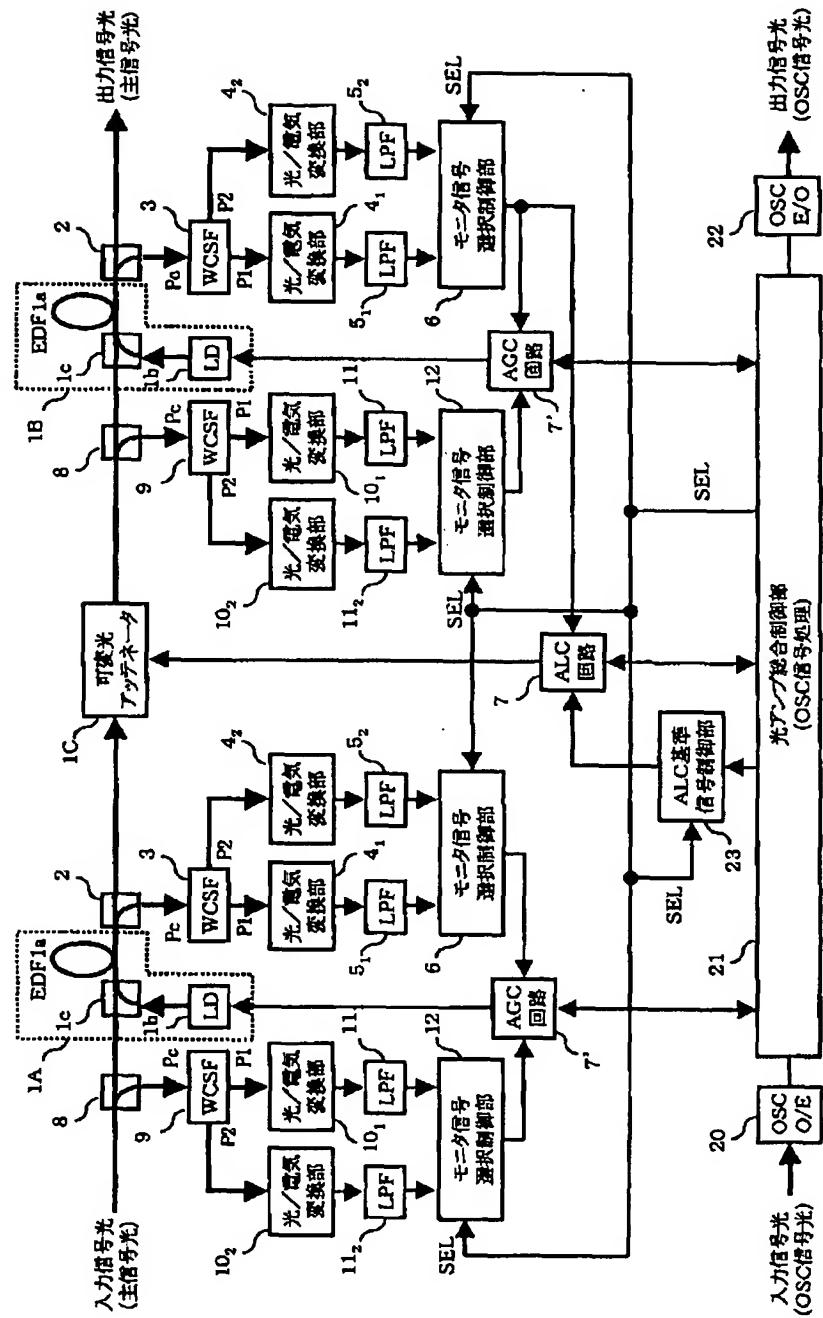
【図8】



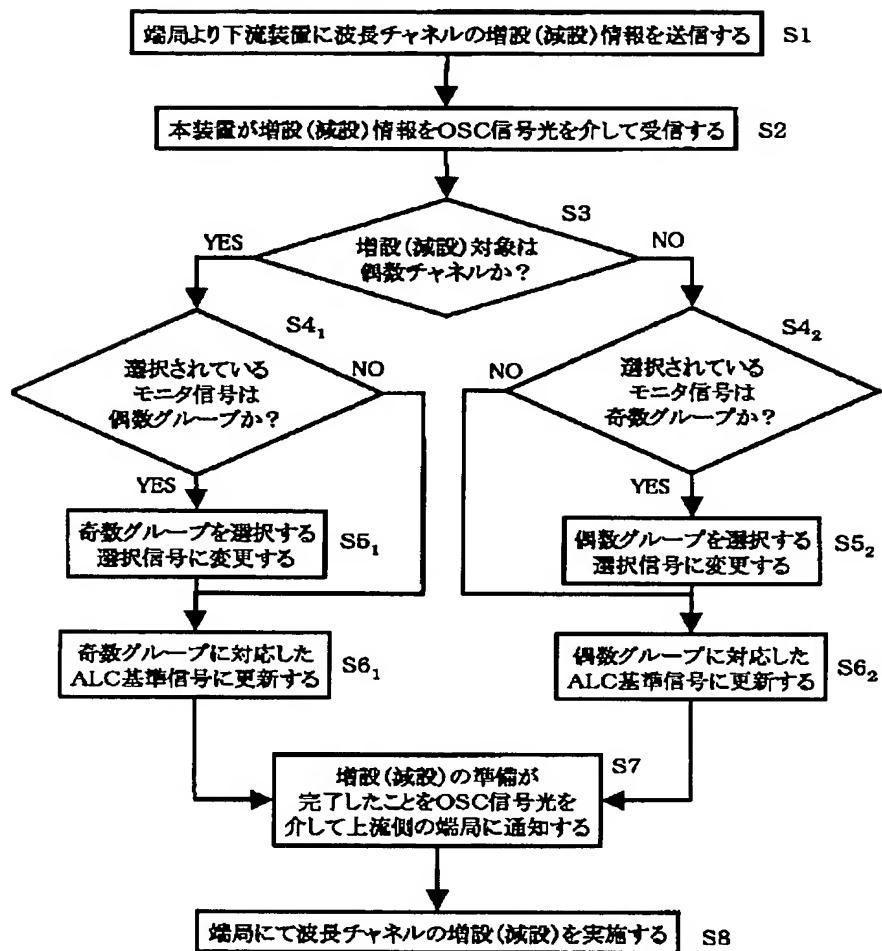
【図13】



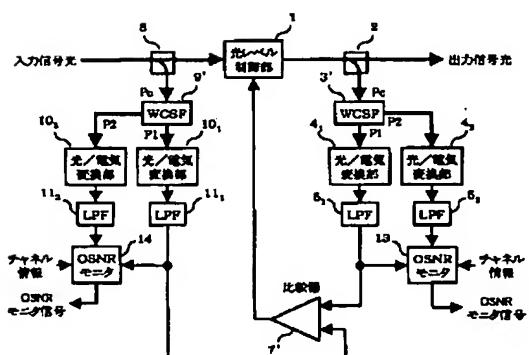
【図4】



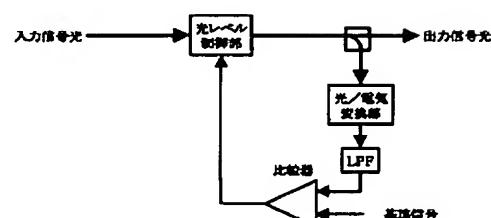
【図5】



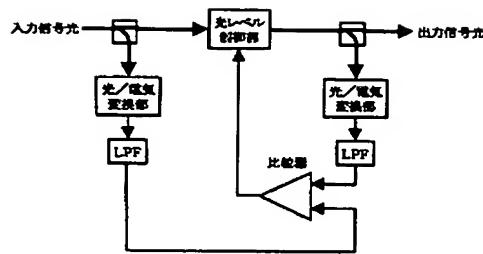
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード*(参考)

H 04 B 10/04

H 04 J 14/00

14/02